

LD 泵浦 Nd:GdVO₄/GaAs 被动调 Q 激光器研究

杜晨林¹ 阮双琛¹ 于永芹^{1,2} 秦连杰³ 邵宗书⁴ 孟宪林⁴

(1 深圳大学工程技术学院,深圳 518060)

(2 天津大学精密仪器与光电子工程学院,天津 300072)

(3 烟台大学环境工程与材料学院,烟台 264005)

(4 山东大学晶体材料国家重点实验室,济南 250100)

摘要 报道了采用大功率半导体激光器端面泵浦 Nd:GdVO₄ 晶体,利用 GaAs 晶片兼作饱和吸收被动调 Q 元件和输出耦合镜,实现了 1.06 μm 激光的被动调 Q 运转. 在泵浦功率为 13.9 W 时,获得最高平均输出功率为 3.6 W,脉冲宽度为 252 ns,单脉冲能量为 27 μJ 以及峰值功率为 107 W 的激光脉冲.

关键词 半导体激光器泵浦;Nd:GdVO₄ 晶体;GaAs;被动调 Q

中图分类号 TN24 **文献标识码** A

0 引言

近几年来,一种比较新型的激光晶体 Nd:GdVO₄ 吸引了国内外激光领域专家的广泛关注^[1-4,11]. Nd:GdVO₄ 晶体除了具有 Nd:YVO₄ 晶体的优点(发射截面大、吸收系数大、输出为线偏振等)之外,它沿〈110〉方向的热导率为 11.7 Wm⁻¹K⁻¹,稍高于 Nd:YAG 晶体的热导率(11.1 Wm⁻¹K⁻¹)^[1]. 因此,与 Nd:YVO₄ 晶体不同,Nd:GdVO₄ 晶体可以象 Nd:YAG 晶体一样能够被应用于高功率全固态激光器中,并被认为是一种很有发展应用前景的激光晶体.

由于半导体材料的能带间隙和能带寿命可以通过改变金属有机物化学气相淀积以及分子束外延的生长条件和生长环境来加以调节,使其吸收光谱能够覆盖从可见光到远红外整个区域,所以理论上所有固体激光器都可以利用适当的半导体材料来作为其被动调 Q 器件^[5]. 1996 年,半导体材料 GaAs 被发现具有被动调 Q 特性,并先后实现了 Nd:YAG、Nd:YVO₄、Nd:Sr₅(PO₄)₃F 以及 Yb:YAG 激光器的被动调 Q 运转^[6-9]. 根据传统固体饱和吸收体的被动调 Q 机理,GaAs 是不能作为 1064 nm 激光的被动调 Q 元件的^[10].

本文采用大功率光纤耦合输出的半导体激光器端面泵浦 Nd:GdVO₄ 晶体,在折叠谐振腔中,利用 GaAs 既作为被动调 Q 元件,同时又作为输出耦合镜,实现了全固态被动调 Q 1.06 μm 激光运转,获得了最高平均输出功率为 3.6 W,脉冲宽度为 252 ns,单脉冲能量为 27 μJ 以及峰值功率为 107 W 的激光

脉冲输出.

1 激光器实验装置

激光器实验装置如图 1. 泵浦源为光纤耦合输出的大功率半导体激光器,光纤输出口径为 1.55 mm,室温下的峰值波长在 808 nm 附近. 从光纤输出的泵浦光经过特定的光学聚焦系统,在激光晶体前表面附近被聚焦成半径约为 258 μm 的泵浦光斑. 激光器谐振腔采用折叠腔结构,腔长约为 300 mm. 泵浦端腔镜 M₁ 的曲率半径为 150 mm,其前表面(平面)镀 808 nm 增透膜,后表面(凹面)镀 808 nm 高透膜和 1.06 μm 高反膜(反射率大于 99%). 折叠镜 M₂ 的曲率半径为 100 mm,其凹面镀 1.06 μm 高反膜. 作为饱和吸收体的 GaAs 晶体,其厚度约为 600 μm,输出耦合透过率约为 35%,两面抛光但没有镀膜,并放置在折叠臂中距折叠镜 M₂ 约 65 mm 处. 为了去除 GaAs 晶体在高功率激光辐照下产生的热量,防止其碎裂,我们将其夹在紫铜块中以便于良好的散热. 此外,为了在 GaAs 晶体中产生较高的激光功率密度,把 GaAs 晶体放置在折叠臂的束腰位置,束腰半径为 40 ~ 55 μm. 根据文献[9],由于 GaAs 晶体在 1.06 μm 波长处具有较高的线性透过率,而且其两个未镀膜表面构成 Fabry-Perot 腔,

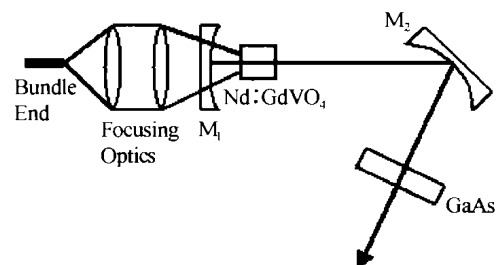


图 1 激光器实验装置图

Fig. 1 Schematic of the experimental laser setup

从而减小了损耗,提高了饱和光强,所以未镀膜的 GaAs 晶片还可以被用作激光器的输出耦合镜.因此,在本实验中除了作为被动调 Q 元件之外, GaAs 晶体还作为谐振腔的输出耦合镜,从而大大简化了激光器的结构.

实验所用的 Nd:GdVO₄ 晶体为山东大学晶体材料研究所采用提拉法生长并加工,晶体尺寸为 4 mm × 4 mm × 10 mm,沿 a 轴方向切割, Nd³⁺ 浓度为 0.52 at. %, 两个通光面均镀 808 nm 和 1.06 μm 增透膜(透过率大于 99%). 为了去除激光晶体在大功率泵浦下产生的大量的热量,减小激光晶体的热效应, Nd:GdVO₄ 晶体侧面用铝箔包裹置于紫铜块内,并用半导体制冷器和循环水冷却,实验过程中温度控制在 20℃ 左右.

2 实验结果及讨论

图 2 给出了 1.06 μm 激光平均输出功率随入

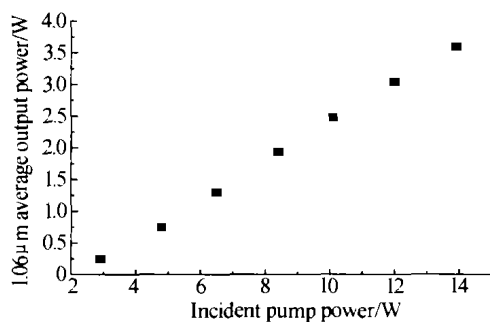


图 2 1.06 μm 激光平均输出功率与泵浦功率的关系
Fig. 2 1.06 μm average output power as a function of pump power

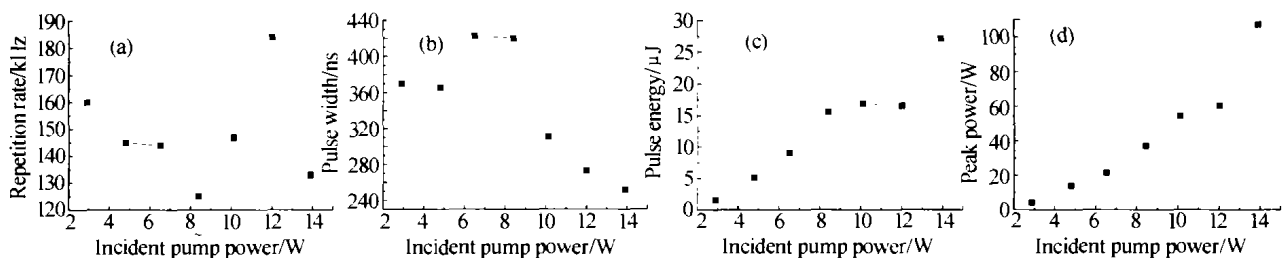


图 3 重复频率(a)、脉冲宽度(b)、单脉冲能量(c)、峰值功率(d)随泵浦功率的变化关系

Fig. 3 The repetition rate (a), pulse width (b), pulse energy (c) and peak power (d) versus incident pump power

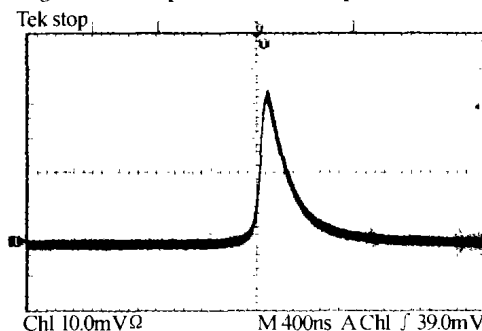


图 4 在最大泵浦功率为 13.9 W 时,脉冲宽度为 252 ns 的单脉冲示波器波形

Fig. 4 Oscilloscope trace of a 252 ns pulse at the maximum incident pump power of 13.9 W

射泵浦功率的变化关系,被动调 Q 激光器的阈值泵浦功率测定为 1.6 W. 从图中可以看出,随着泵浦功率的增大,1.06 μm 激光平均输出功率呈线性增加变化. 当泵浦功率增大到 13.9 W 时,获得最大平均输出功率为 3.6 W,对应的光-光转换效率为 25.9%,斜效率为 29.2%.

利用快速光电二极管 (C1083, Hamamatsu Photonics) 和 500 MHz 数字式示波器 (Tektronix TDS3052) 监测激光脉冲信号. 图 3 为激光脉冲的重复频率、脉冲宽度、单脉冲能量以及峰值功率随入射泵浦功率的变化关系. 当泵浦功率低于 8.4 W 时,随着泵浦功率的增大,重复频率呈下降变化,而脉冲宽度略有增大. 当泵浦功率增大到 8.4 W 之后,重复频率急剧增大,脉冲宽度急剧下降. 然而,当泵浦功率增大到 12 W 时,重复频率又开始急剧下降,而脉冲宽度依然呈下降趋势. 这主要是由于高功率密度下 GaAs 晶体中较强的双光子吸收等现象所致^[9]. 对于单脉冲能量和峰值功率,在整个泵浦功率范围内都始终呈增大变化趋势的. 在最大泵浦功率为 13.9 W 时,获得了最短脉冲宽度为 252 ns,最大单脉冲能量为 27 μJ,最高峰值功率为 107 W. 图 4 为此单脉冲波形的示波器图形. 造成实验中脉冲宽度较长,单脉冲能量和峰值功率较低的原因主要有两方面:一是 Nd:GdVO₄ 晶体的受激发射截面 ($7.6 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$) 大,上能级寿命 (100 μs) 短,不利于储存能量,导致输出单脉冲能量低;二是实验中的谐振腔比较长,所以脉冲宽度较长,峰值功率比较低.

3 结论

利用 GaAs 晶片同时作为饱和吸收被动调 Q 元件和 Fabry-Perot 输出耦合镜,采用大功率半导体激光器端面泵浦 Nd:GdVO₄ 晶体,在折叠谐振腔中,实现了被动调 Q 的 1.06 μm 脉冲激光输出,研究了重复频率、脉冲宽度、单脉冲能量以及峰值功率随泵浦功率的变化关系,并获得了 3.6 W 的最高平均输出功率,27 μJ 的最高单脉冲能量以及 107 W 的最高峰值功率.

参考文献

- 1 Studenikin P A, Zagumennyi A I, Zavartsev Yu D, *et al.* GdVO₄ as a new medium for solid-state lasers: some optical and thermal properties of crystals doped with Nd³⁺, Tm³⁺, and Er³⁺ ions. *Quantum Electron*, 1995, **25**(12): 1162 ~ 1165
- 2 Jensen T, Ostroumov V G, Meyn J P, *et al.* Spectroscopic characterization and laser performance of diode-laser-pumped Nd:GdVO₄. *Appl Phys B*, 1994, **58**(5): 373 ~ 379
- 3 Liu J, Shao Z, Zhang H, *et al.* Diode-laser-array end-pumped 14.3 W CW Nd:GdVO₄ solid-state laser at 1.06 μm. *Appl Phys B*, 1999, **69**(3): 241 ~ 243
- 4 Du Chenlin, Qin Lianjie, Meng Xianlin, *et al.* High-power Nd:GdVO₄ laser at 1.34 μm end-pumped by laser-diode-array. *Opt Commun*, 2002, **212**(1~3): 177 ~ 181
- 5 Tsou Y, Carmire E, Chen W, *et al.* Passive-Q-switching of Nd:YAG lasers by use of bulk semiconductors. *Opt Lett*, 1993, **18**(18): 1514 ~ 1516
- 6 Kajara T T, Gaeta A L. Q-switching of a diode-pumped Nd:YAG laser with GaAs. *Opt Lett*, 1996, **21**(16): 1244 ~ 1246
- 7 Gu Jiaohui, Zhou Feng, Wan K T, *et al.* Q-switching of a diode-pumped Nd:YVO₄ laser with GaAs nonlinear output coupler. *Opt Lasers Eng*, 2001, **35**(5): 299 ~ 307
- 8 Li Ping, Wang Qingpu, Zhang Xingyu, *et al.* Nd: Sr₃(PO₄)₃F crystal laser characteristics using GaAs as passive Q-switch. *Chin J Lasers*, 2000, **B9**(2): 107 ~ 110
- 9 Shen Deyuan, Tang Dingyuan, Kong Jian. Passively Q-switched Yb:YAG laser with a GaAs output coupler. *Opt Commun*, 2002, **211**(1~6): 271 ~ 275
- 10 李平, 王青圃, 高达, 等. GaAs 被动调 Q Nd:YAG 激光器激光特性的研究. *光学学报*, 2000, **20**(6): 744 ~ 749
Li P, Wang G P, Gao D, *et al.* *Acta Optical Sinica*, 2000, **20**(6): 744 ~ 749
- 11 Hou Xueyuan, Li Yufei, Sun Yuming, *et al.* LD Pumped Nd:GdVO₄/KTP intracavity-frequency-doubling laser. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1): 11 ~ 14

Study of LD-pumped Nd:GdVO₄/GaAs Passively Q-switched Laser

Du Chenlin¹, Ruan Shuangchen¹, Yu Yongqin^{1,2}, Qin Lianjie³, Shao Zongshu⁴, Meng Xianlin⁴

¹ School of Engineering and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060

² College of Precision Instrument and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072

³ College of Environmental Engineering and Materials, Yantai University, Yantai 264005

⁴ State Key Laboratory of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100

Received date: 2004-02-02

Abstract A high-power LD-end-pumped passively Q-switched Nd:GdVO₄ laser at 1.06 μm is reported here with a GaAs crystal as both passively Q-switched component and output coupler. At the incident pump power of 13.9 W, the maximum average output power of 3.6 W, the shortest pulse width of 252 ns, the highest single pulse energy of 27 μJ and the highest peak power of 107 W are achieved, respectively.

Keywords Diode-end-pumped; Nd:GdVO₄; GaAs; Passively Q-switched



Du Chenlin was born in 1976. He acquired the Ph. D. degree from Shandong University in 2003. Now he is working in School of Engineering and Technology, Shenzhen University. His main research interest covers solid-state lasers and nonlinear optics.